

Aufbau eines Geschwindigkeitsfilters (Wien-Filter) zur Bestimmung der spezifischen Elektronenladung

Versuchsziele

- Aufbau eines Geschwindigkeitsfilters (Wien-Filter)
- Bestimmung der spezifischen Elektronenladung

Grundlagen

In der Thomson-Röhre kann die Ablenkung von Elektronen in elektrischen und magnetischen Feldern quantitativ untersucht werden. Durch die Überlagerung von elektrischem und magnetischem Feld ist der Aufbau eines Geschwindigkeitsfilters (Wien-Filter) möglich.

In der Thomson-Röhre passieren die Elektronen eine Schlitzblende hinter der Anode und treffen schräg in den Strahlengang gestellten Leuchtschirm mit cm-Raster, wo der Strahlverlauf der Elektronen sichtbar wird und quantitativ ausgewertet werden kann. Am Austritt der Schlitzblende ist ein Plattenkondensator angebracht, mit dem sich der Elektronenstrahl elektrostatisch vertikal ablenken lässt. Zusätzlich kann mit Helmholtz-Spulen ein externes Magnetfeld aufgebaut werden, mit dem der Elektronenstrahl ebenfalls vertikal abgelenkt werden kann.

Im Experiment wird ein Geschwindigkeitsfilter (Wienfilter) aufgebaut. Für eine feste Anodenspannung U_A werden die Spannung am Plattenkondensator U_P und der Strom durch das Helmholtzspulenpaar I so gewählt, dass sich die durch das elektrische und das magnetische Feld bewirkte Ablenkung des Elektronenstrahls am Ausgang des Plattenkondensators gerade aufhebt. Ändert man U_A und damit die Geschwindigkeit der Elektronen, so zeigt sich, dass diese Kompensation ohne Änderung von U_P und I nur für eine Geschwindigkeit $v = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U_A}{m}}$ möglich ist und der Elektronenstrahl wieder abgelenkt wird. Erst durch eine Änderung von U_P oder I kann die Ablenkung wieder kompensiert werden.

Zusätzlich ermöglicht dieser Aufbau eine genauere Bestimmung der spezifischen Elektronenladung. Sind U_P und I so gewählt, dass sich elektrisches und Magnetfeld gerade kompensieren, so ergibt sich die spezifische Ladung aus

$$\frac{e}{m} = \frac{1}{2U_A} \cdot \left(\frac{E}{B}\right)^2 \quad (1)$$

Aufgrund des Röhrenaufbaus ist das elektrische Feld kleiner als der theoretisch zu erwartende Wert. Dies kann im Experiment durch einen Korrekturfaktor berücksichtigt werden:

$$E_{\text{exp}} = 0,75 \cdot E_{\text{theo}} = 0,75 \cdot \frac{U}{d} \quad (2)$$

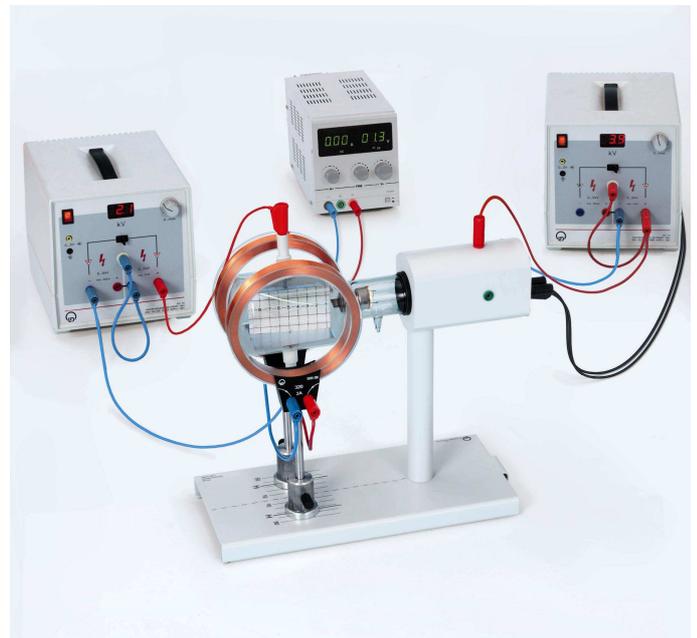


Abb. 1: Versuchsaufbau

Geräte

1 Elektronenablenkröhre	555 624
1 Röhrenständer.....	555 600
1 Helmholtz-Spulenpaar	555 604
2 Hochspannungsnetzgerät.....	521 70
1 DC Netzgerät 0 – 16 V / 0 – 5 A	521 545
2 Sicherheits-Experimentierkabel, 25 cm, rot	500 611
1 Sicherheits-Experimentierkabel, 50 cm, rot	500 621
1 Sicherheits-Experimentierkabel, 50 cm, blau	500 622
3 Sicherheits-Experimentierkabel, 100 cm, rot	500 641
3 Sicherheits-Experimentierkabel, 100 cm, blau.....	500 642
2 Sicherheits-Experimentierkabel, 100 cm, schw. ...	500 544

Das Magnetfeld B kann berechnet werden über

$$B = \mu_0 \cdot \left(\frac{4}{5}\right)^2 \cdot \frac{N \cdot I}{R} \quad (3)$$

mit Stromstärke I , Windungszahl N und Spulenradius R . d ist der Abstand der Kondensatorplatten.

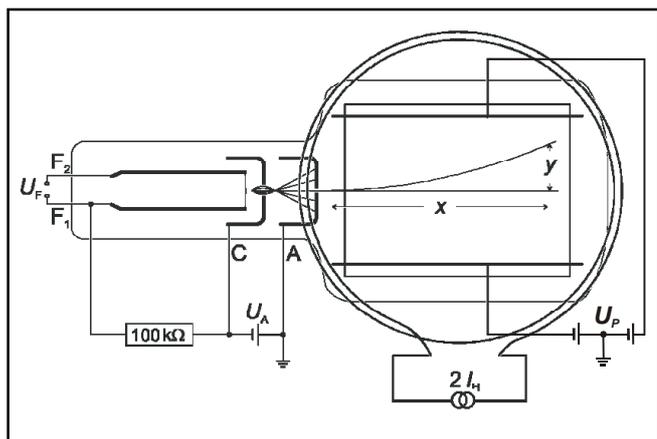


Abb. 2: Schaltskizze

Sicherheitshinweis:

Bei der Thomson-Röhre handelt es sich um einen dünnwandigen evakuierten Glaskolben, es besteht Implosionsgefahr!

- Röhre keinen mechanischen Belastungen aussetzen.
- Thomson-Röhre nur mit Sicherheits-Experimentierkabeln beschalten.
- Gebrauchsanweisungen zu Thomson-Röhre (555 624) und Röhrenständer (555 600) beachten.

Aufbau

Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 1 gezeigt. Die Beschaltung ist zusätzlich in Abbildung 2 dargestellt. Der 100 kΩ-Widerstand ist im Röhrenständer (555 600) bereits integriert. Zum Aufbau sind folgende Schritte nötig:

- Die Thomson-Röhre vorsichtig in den Röhrenständer einsetzen.
- Für die Katodenheizung die Buchsen F₁ und F₂ des Röhrenständers an den rückseitigen Ausgang (6,3 V) des Hochspannungs-Netzgerätes 10 kV anschließen.
- Buchse C des Röhrenständers (Katodenkappe der Thomson-Röhre) an den Minuspol und Buchse A (Anode) an den Pluspol des Hochspannungs-Netzgerätes 10 kV anschließen und den Pluspol zusätzlich erden.
- Das Helmholtz-Spulenpaar an den mit H markierten Positionen (Helmholtz-Geometrie) des Röhrenständers aufstellen. Ein Abweichen von der Helmholtzgeometrie führt zu einem systematischen Fehler bei der Berechnung des Magnetfelds; daher die Abweichung möglichst gering halten. Die Höhe der Spulen so einstellen, dass die Mitte der Spulen auf Höhe der Strahlachse liegt.
- Die Spulen in Serie an die Gleichspannungsquelle anschließen, so dass der an der Spannungsquelle angezeigte Strom dem Strom durch die Spulen entspricht. Darauf achten, dass der Strom durch die Spulen im gleichen Umlaufsinn fließt.
- Eine Kondensatorplatte am Pluspol des rechten Ausgangs, die zweite am Minuspol des linken Ausgangs des zweiten Hochspannungs-Netzgerätes 10 kV anschließen und mittlere Buchsen des Hochspannungs-Netzgerätes erden.

Durchführung

- Abstand d der beiden Kondensatorplatten messen.
- Das Hochspannungs-Netzgerät einschalten. Die Kathode wird nun geheizt.

- Anodenspannung U_A langsam erhöhen und den zunehmend heller werdenden Strahl in der Mitte des Leuchtschirms beobachten.
- Bei festgehaltenem $U_A < 5$ kV langsam die Spannung an den Kondensatorplatten U_P erhöhen und die Veränderung des Strahlverlaufs beobachten.
- Strom durch das Helmholtz-Spulenpaar I soweit erhöhen, dass die Ablenkung durch das elektrische Feld am Ausgang des Kondensators gerade kompensiert wird (ggf. Stromrichtung umkehren).
- U_P und I festhalten, U_A variieren und Änderung des Strahlverlaufs beobachten.
- Für verschiedene U_A Werte für U_P und I so wählen, dass sich jeweils die Ablenkungen im elektrischen und magnetischen Feld gerade kompensieren und in eine Tabelle eintragen.

Messbeispiel und Auswertung

Für verschiedene Werte U_A wurden Wertepaare ($U_P; I$) abgelesen (siehe Tabelle), für die gerade Kompensation erreicht wird. Der Abstand der Kondensatorplatten betrug $d = 5,5$ cm.

Aus den Gleichungen 2 und 3 erhält man die Werte für das elektrische Feld E und das Magnetfeld B . Die Windungszahl der Spulen beträgt $N = 320$, der mittlere Spulenradius $R = 6,7$ cm. Daraus kann mit Gleichung 1 die spezifische Ladung errechnet werden. Die Ergebnisse zeigt folgende Tabelle.

U_A /kV	U_P /kV	I /A	E /kV/m	B /mT	$\frac{e}{m} / 10^{11} \frac{C}{kg}$
3,0	4,0	0,38	55	1,6	1,9
4,0	4,0	0,33	55	1,4	1,9
5,0	4,0	0,30	55	1,3	1,8

Daraus ergibt sich als Mittelwert für die spezifische Ladung

$$\frac{e}{m} = 1,87 \cdot 10^{11} \frac{V}{kg}$$

$$\text{Literaturwert } \frac{e_0}{m_0} = 1,7588 \cdot 10^{11} \frac{V}{kg}$$

Hinweis:

Auch bei optimaler Kompensation verläuft der Elektronenstrahl nicht genau auf der Nulllinie. Das Magnetfeld des Helmholtzspulenpaares ist außerhalb des Bereichs der Kondensatorplatten nicht gleich Null, sondern nimmt langsam zu. In diesem Bereich kann das Magnetfeld nicht durch das elektrische Feld der Kondensatorplatten kompensiert werden, was zu einer kleinen Abweichung des Elektronenstrahls von der Nulllinie führt.

Im Versuch werden die Elektronen zwischen einer negativ geladenen Kathode und einer geerdeten Anode beschleunigt (siehe Schaltskizzen in Abb. 2 und 3). Die Kondensatorplatten werden so beschaltet, dass die Mitte der Glimmerplatte auf Nullpotential liegt (siehe Schaltskizzen in Abb. 2 und 3). Dadurch wirkt zwischen Anode und Glimmerplatte kein Feld und damit keine beschleunigende/abbremmende Kraft auf die Elektronen. Die Geschwindigkeit der Elektronen beim Eintritt in den Kondensatorplatten kann dann aus der Beschleunigungsspannung U_A berechnet werden. Befinden sich Anode und Glimmerplattenmitte auf unterschiedlichem Potential, so muss die Potentialdifferenz bei der Berechnung der Elektronengeschwindigkeit zusätzlich berücksichtigt werden.